

Переменные звезды, **21**, № 5, 741–746, 1982
Variable Stars **21**, № 5, 741–746, 1982

Светимости и возрасты классических цефеид

Ц. Цветков

Вычислены светимости и возрасты 156 классических цефеид Галактики. Сравниваются светимости, полученные разными способами. Для цефеид малых периодов ($P < 10^d$) более вероятно второе пересечение полосы неустойчивости, а для цефеид больших периодов — третье пересечение (рис. 2). Для этих двух групп звезд получена "полуэмпирическая" зависимость период–возраст (рис. 3).

$$P < 10^d: \lg t = 8.332 - 0.731 \lg P, s = 0.037; \\ \pm 0.014 \pm 0.018$$

$$P > 10^d: \lg t = 8.250 - 0.504 \lg P, s = 0.047. \\ \pm 0.075 \pm 0.057$$

Эта зависимость согласуется с зависимостью, полученной теоретически и проверенной по цефеидам в скоплениях.

Luminosities and Ages of Classical Cepheids

by Ts. Tsvetkov

The luminosities and ages of 156 classical cepheids of our Galaxy are calculated. The luminosities derived in different ways are compared. For cepheids with small periods ($P < 10$ days) the second crossing of the instability strip is more probable and for cepheids with large periods the third crossing is more probable (Fig. 2). For these two star groups a "semiempirical" period – age relation is derived using Sandage and Tammann's (1969) PCL relation and Iben's (1967) evolution track system (Fig. 3).

$$P < 10 \text{ days: } \lg t = 8.332 - 0.731 \lg P, \text{ with a m.q.e. of } 0.037; \\ \pm 0.014 \pm 0.018$$

$$P > 10 \text{ days: } \lg t = 8.250 - 0.504 \lg P, \text{ with a m.q.e. of } 0.047. \\ \pm 0.075 \pm 0.057$$

This relation is consistent with the relation derived theoretically and verified by means of cluster cepheids.

В данной работе представлены результаты вычислений светимостей и возрастов 156 классических цефеид Галактики. Для расчетов были использованы радиусы звезд R_w , полученные методом Весселинка, и средние показатели цвета $\langle B - V \rangle_0$, исправленные за межзвездное поглощение (Иванов, 1975). Применялись соотношения PCL Сэндиджа и Таммана (1969) и Ибена и Таггла (1975), шкала эффективной температуры Крафта и формула для болометрической поправки (Сендидж и Граттон, 1963). Была принята система эволюционных треков Ибена (1967).

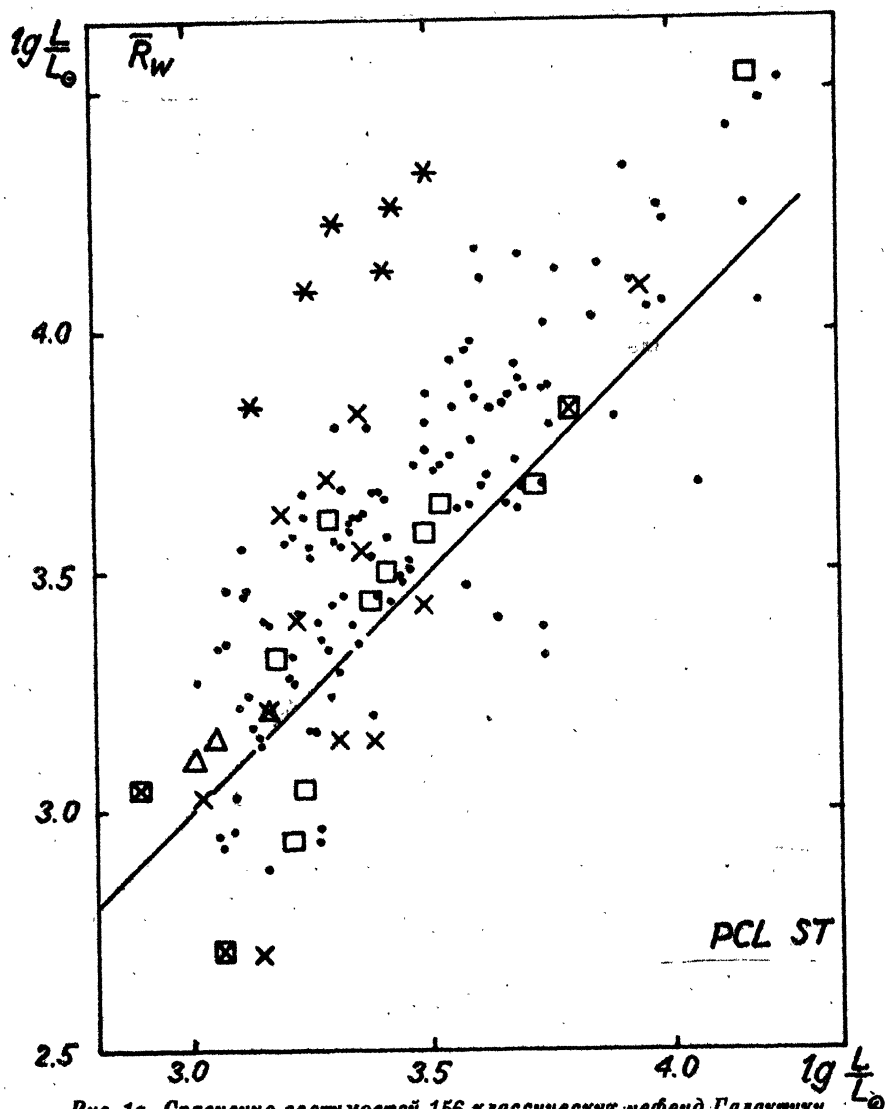


Рис. 1а. Сравнение светимостей 156 классических цефеид Галактики. Расчеты сделаны с использованием радиусов $\bar{R}_W$ и по зависимости PCL Сендиджа и Таммана (СТ). Квадратики обозначают цефеиды в скоплениях, крестики — s-цефеиды, треугольники — цефеиды с двойной периодичностью, звездочки — звезды с аномально большими радиусами $\bar{R}_W$.

На рис. 1а и 1б сравниваются светимости, вычисленные разными способами. Видно, что если применять соотношение PCL Сендиджа и Таммана (СТ), то получаются заниженные светимости. На рис. 1а

большой разброс тоже обусловлен ошибками оценок радиусов R_W для индивидуальных звезд, в особенности при $\lg L/L_\odot < 3.5$. Шесть звезд, отмеченных звездочками (AD Gem, RY CMa, Y Sgr, X Vul, BB Sgr, TW CMa) имеют аномально большие радиусы R_W и, возможно, представляют собой двойные системы. Светимости, полученные из двух соотношений PCL (рис. 16), отличаются на 0.05–0.15 по $\lg L/L_\odot$. Систематическое различие светимостей на обоих рисунках скорее всего обусловлено использованием Сендиджем и Тамманом старого (заниженного) расстояния до Гиад для определения нуля-пункта их соотношения (Ибен и Таггл, 1972). Однако, соотношение PCL Сендиджа и Таммана широко распространено и многие авторы пользуются им. Ниже представлены результаты, полученные с его помощью.

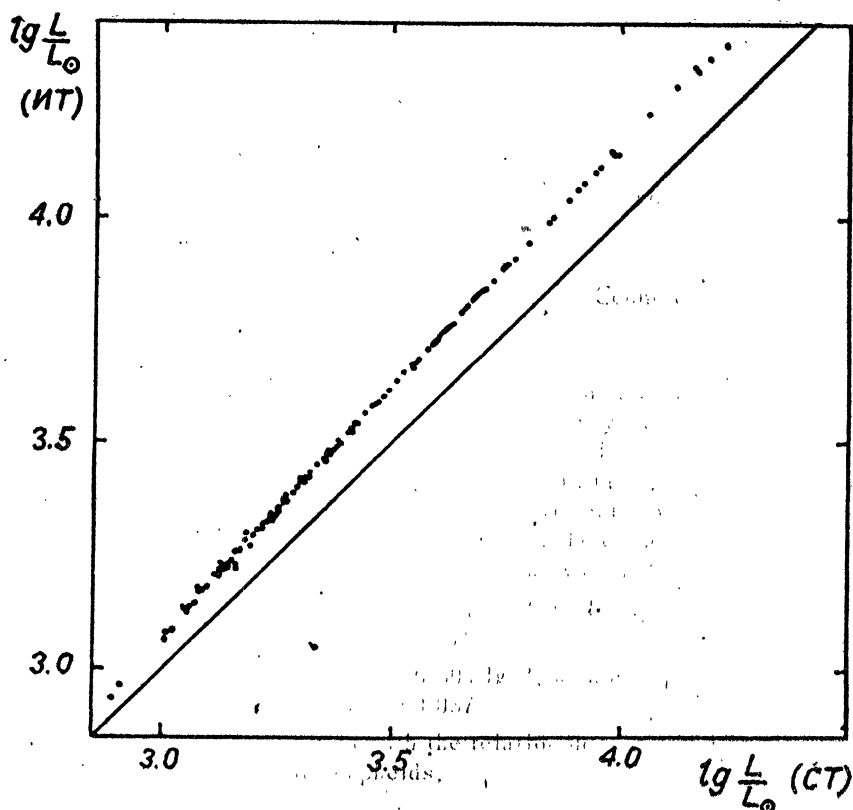


Рис. 16. Сравнение светимостей цефеид, вычисленных из соотношений PCL Сендиджа и Таммана (СТ) и Ибена и Таггла (ИТ).

На рис. 2 дана зависимость период — W , где W — вероятность в процентах для второго (точки) и третьего (крестики) пересечений полосы неустойчивости (первое пересечение очень мало вероятно). Для цефеид малых периодов более вероятно второе, а для цефеид больших периодов — третье пересечение. Звезды с $\lg P \approx 1.0$ – 1.2 примерно с одинаковой ве-

роятностью могут пересекать второй или третий раз полосу неустойчивости. Давно известно, что вблизи периода $P \approx 10$ суток резко меняются многие свойства цефеид.

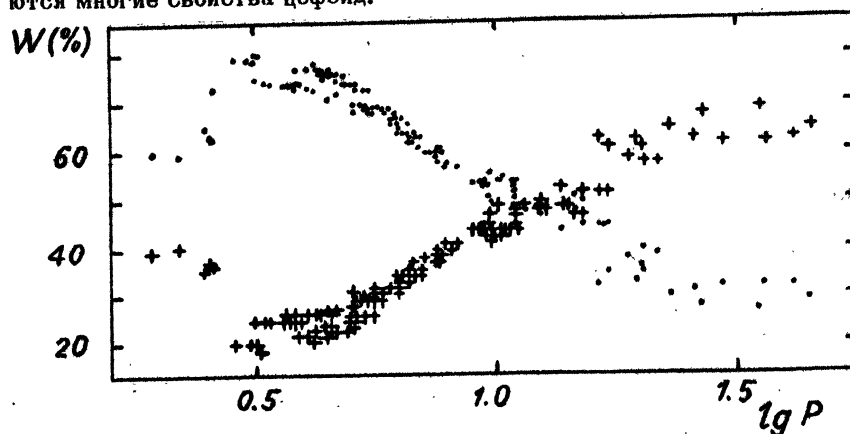


Рис. 2. Зависимость период— W , где W —вероятность в процентах для второго (точки) и третьего (крестики) пересечений полосы неустойчивости. Использованы соотношения PCL Оендиджа и Таммана и эволюционные треки Ибена.

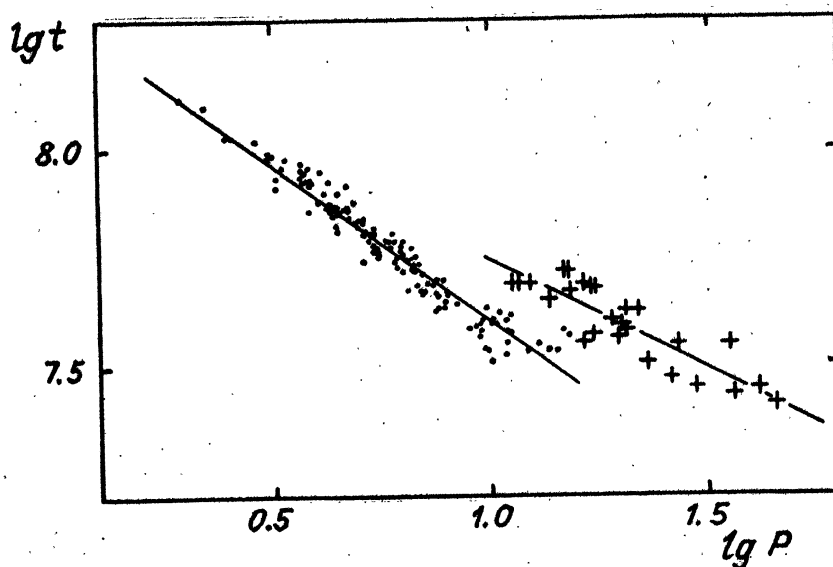


Рис. 3. Зависимость период—возраст для цефеид Галактики. Использованы соотношения PCL Оендиджа и Таммана и эволюционные треки Ибена. Прямые линии соответствуют формулам (1) и (2) для: второго (точки) и третьего (крестики) пересечений полосы неустойчивости.

На рис. 3 представлена "полуэмпирическая" зависимость период—возраст, где возраст t (в годах) вычислен для пересечения полосы неустойчивости с самой большой вероятностью. Виден характерный "перелом" при $\lg P \approx 1.0-1.2$ (см. рис. 2). Для второго пересечения (точки) по 130 звездам мы получили методом наименьших квадратов следующую зависимость

$$P < 10^d: \lg t = 8.332 - 0.731 \lg P \quad (1) \\ \pm 0.014 \quad \pm 0.018$$

со средней квадратической ошибкой 0.037. Для третьего пересечения (крестики) по 26 звездам получилось

$$P > 10^d: \lg t = 8.250 - 0.504 \lg P \quad (2) \\ \pm 0.075 \quad \pm 0.057$$

со средней квадратической ошибкой 0.047. Дисперсия зависимости близка к теоретически ожидаемой дисперсии (Мейер—Хофмейстер, 1969). Из формул (1) и (2) и рис. 3 следует, что учет возможности для третьего пересечения полосы неустойчивости увеличивает возраст цефеид с большими периодами в 1.5–2 раза.

В 1961 г. Юнг (Ефремов, 1978) впервые получил теоретическую зависимость период—возраст для цефеид с коэффициентами (8.57, –0.714). Киппенхан и Смит (1969) на основе расчетов моделей звезд получили подобную теоретическую зависимость (Тамман, 1970) с коэффициентами (8.16, –0.651) для химического состава $X=0.602$, $Z=0.044$ и (8.33, –0.651) при $X=0.739$, $Z=0.021$ или при потере половины массы. Формула (1) лучше соответствует последнему случаю, что скорее всего объясняется близким химическим составом — треки Ибена рассчитаны с $X=0.708$, $Z=0.02$. Из результатов Киппенхана и Смита следует, что вариации химического состава I типа населения меняют возраст цефеиды с данным периодом в 1.5 раза.

Ефремов в ряде работ (см. ссылки в его статье 1978 г.) исследовал зависимость период—возраст на основе изучения цефеид в скоплениях. По 64 цефеидам в 29 скоплениях Магелановых облаков, Галактики и М31 Ефремов (1978) построил сводную "полуэмпирическую" зависимость период—возраст с коэффициентами (8.157±0.037, –0.677±0.047).

Таким образом, изучая цефеиды поля Галактики, мы подтверждаем результаты теоретических расчетов и их проверки по цефеидам в скоплениях. Можно считать, что зависимость период—возраст надежно установлена и проверена.

Вывод о связи между периодом (или светимостью и массой) цефеид и пересечением полосы неустойчивости с самой большой вероятностью (рис. 2) подтверждается и результатами Киппенхана и Смита (см. их табл. 1 и рис. 1), которые использовали другую систему эволюционных треков (Киппенхана—Хофмейстер—Вейгерта). Однако, в отличие от их рис. 1, на нашем рис. 3 звезды малых и больших периодов удовлетворяют разным зависимостям период—возраст. Возможно, в этом случае играют роль некоторые особенности двух использованных систем треков.

Оценки возрастов скоплений, полученные разными методами (в частности, по рассматриваемому здесь), удовлетворительно согласуются между собой (Киппенхан и Смит, 1969; Мейер-Хофмейстер, 1969). Применение простой зависимости период-возраст позволяет определять с высокой точностью возраст данного скопления по периоду обнаруженной в нем цефеиды, а также возраст индивидуальных цефеид поля. Это дает мощное средство для изучения возрастов рассеянных скоплений, строения и динамики галактик, процессов звездообразования в пространстве и времени в течение последние десятков миллионов лет.

Расчеты светимостей и возрастов цефеид были сделаны в 1976 г. на ЭВМ М-222 Астросовета АН СССР.

Автор благодарен А.Э. Пискунову и Ю.Н. Ефремову за помощь в расчетах и обсуждение результатов.

Литература:

- Ефремов Ю.Н., 1978, АЖ **55**, 272.
 Ибен, 1967 — Iben I., Ann. Rev. Astr. Ap. **5**, 571.
 Ибен и Таггл, 1972 — Iben I., Tuggle R.S., ApJ **176**, 441.
 Ибен и Таггл, 1975 — Iben I., Tuggle R.S., ApJ **197**, 39.
 Иванов Г.Р., 1975, Диссертация, София.
 Киппенхан и Смит, 1969 — Kippenhahn R., Smith L., Astron. Astrophys. **1**, 142.
 Мейер-Хофмейстер, 1969 — Meyer-Hofmeister E., Astron. Astrophys. **2**, 143.
 Сендидж и Граттон, 1963 — Sandage A.R., Gratton L., "Star Evolution", ed. L. Gratton (New York: Academic Press), p. 11.
 Сендидж и Тамман, 1969 — Sandage A.R., Tammann G.A., ApJ **157**, 683.
 Тамман, 1970 — Tammann G.A., IAU Symp. No. **38**, 236.

Кафедра астрономии Софийского
 университета
 Болгария

Поступила в редакцию
 2 июля 1980 г.